

# COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE DOSE OBTIDA ATRAVÉS DO TLD-100 COM A DO SISTEMA DE PLANEJAMENTO ECLIPSE 11.0 EM RADIOTERAPIA DE ARCO MODULADO VOLUMÉTRICO (VMAT)

## *Comparison of dose distribution obtained with TLD-100 with the planning system Eclipse 11.0 in Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT)*

Amanda Bravim<sup>1\*</sup>, Roberto Kenji Sakuraba<sup>1,2</sup>, José Carlos da Cruz<sup>2</sup>, Leticia Lucente Campos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gerência de Metrologia das Radiações ó Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP)

<sup>2</sup>Hospital Israelita Albert Einstein (HIAE)

\* Autor correspondente: [ambravim@hotmail.com](mailto:ambravim@hotmail.com)

### **Resumo**

*Este trabalho tem como objetivo simular um tratamento de vértebra com proteção de medula espinhal utilizando a técnica VMAT em um objeto simulador de PMMA e comparar a distribuição de dose obtida através dos dosímetros de LiF:Mg,Ti com o do sistema de planejamento Eclipse 11.0. O objeto simulador utilizado apresenta cinco cavidades, uma simulando um tumor a ser tratado e as demais os seus possíveis órgãos de risco. Os dosímetros apresentaram variação máxima de  $\pm 2,98\%$  para medidas individuais de dose absorvida e  $\pm 0,92\%$  para medidas de dose média absorvida quando comparados aos valores de dose absorvida obtida pelo sistema de planejamento do Hospital Israelita Albert Einstein.*

### **Abstract**

*This work aims to simulate a vertebral treatment with spinal cord protection using the VMAT technique on a phantom of PMMA and compare the dose distribution obtained with LiF: Mg, Ti thermoluminescent dosimeters and dose distribution given by the planning system Eclipse 11.0. The phantom has five cavities, one simulating a tumor to be treated and the others the potential risk organs. The dosimeters presented maximum variation of  $\pm 2.98\%$  for individual measurements of absorbed dose and  $\pm 0.92\%$  for measurements of average absorbed dose compared to values of absorbed dose given by the planning system of Hospital Israelita Albert Einstein.*

### **1. Introdução**

Baseada na aceleração linear desenvolvida no final dos anos 90, a IMRT é uma modalidade de radioterapia externa que utiliza múltiplos feixes de radiação angulares e intensidades não-uniformes,

além de possibilitar a conformação da radiação para o contorno da área-alvo. Como faz uso da radiação conformacional, a forma do feixe se assemelha à forma do tumor fornecendo maior intensidade de dose na área-alvo (área de interesse), preservando regiões de tecido saudável [1, 2]

A preocupação quanto a se modular o feixe de radiação ocorreu devido a uma nova concepção de planejamento, o planejamento inverso, proposto por Brahme (1986), mas aperfeiçoado por Boyer et al (1991) a partir de uma comparação com a reconstrução das imagens de tomografia computadorizada [2].

Para que haja a modulação do feixe são introduzidos blocos de atenuação nos aceleradores lineares. Esses blocos blindam parte do feixe e, com isso, atinge-se apenas o volume alvo. Equipamentos mais modernos trabalham com um sistema de colimação de multifolhas (MLC - Multileaf Collimator). Esse sistema sincroniza os movimentos das lâminas com a quantidade de radiação a ser liberada pelo acelerador linear de forma a se obter a modulação desejada do feixe [4, 6-8].

O conceito de uma nova técnica de IMRT que utiliza o movimento do gantry juntamente com a modulação da intensidade do feixe, VMAT, foi lançada comercialmente em 2008. Ao longo da irradiação em arco, a forma do campo é definida pelo movimento das lâminas (MLC) e a intensidade modulada é obtida pelos múltiplos arcos rotacionais. Como principal vantagem da VMAT, tem-se a obtenção de uma uniformidade na conformação das doses mais elevadas à área-alvo, através do uso de diversos arcos [9]. A IMRT convencional e com gantry em arco são novas técnicas responsáveis por uma mudança no cenário da radioterapia, trazendo benefícios e possibilitando uma menor toxicidade no tratamento de pacientes. Com essas modalidades de tratamento

é possível minimizar a dose de radiação nos tecidos saudáveis e escalonar a dose no volume alvo (tumor) [10-12].

Como os campos de radiação são produzidos pelo movimento das lâminas e pela taxa de dose do acelerador, estes possuem intensidades distintas. Sendo assim, o valor da dose prescrita pode sofrer variação se ocorrer erro de posicionamento da lâmina ou na taxa de dose. Por ser uma técnica nova de radioterapia, são necessários novos procedimentos de controle de qualidade a fim de se assegurar que a dose administrada foi a mesma dose prescrita [2].

A dosimetria da radiação ionizante é fundamental para o Programa de Garantia de Qualidade e licenciamento de equipamentos. Todos os componentes que estejam envolvidos desde o planejamento do tratamento do paciente até a absorção da dose de radiação devem ser verificados para assegurar a eficácia do tratamento. Diversas organizações recomendam valores máximos de  $\pm 5\%$  para incertezas na dose absorvida em radioterapia [13, 14].

Este trabalho tem como objetivo simular um tratamento de vértebra com proteção de medula espinhal utilizando a técnica VMAT em um objeto simulador de PMMA e comparar a distribuição de doses obtida através dos dosímetros termoluminescentes de LiF:Mg,Ti (TLD-100) com o do sistema de planejamento Eclipse 11.0.

## 2. Materiais e Métodos

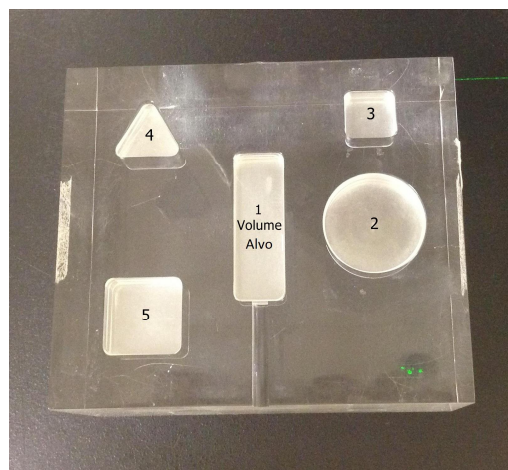
Antes das irradiações, os dosímetros TLD-100 produzidos pela Harshaw Chemical Company foram submetidos a tratamento térmico em duas etapas: 400°C durante uma hora utilizando forno Vulcan, modelo 3-550 PD mais 100°C durante duas horas utilizando estufa cirúrgica Fanen, modelo 315-IEA 11200. Os TLD-100 foram selecionados de acordo com a sua sensibilidade ao  $^{60}\text{Co}$ . Para essa seleção foi utilizada uma fonte de  $^{60}\text{Co}$  do Centro de Tecnologia das Radiações (CTR) do IPEN/CNEN-SP com atividade de 12,21 TBq. Os TLD-100 selecionados foram caracterizados em feixe clínico de fótons de 6 MV utilizando o acelerador linear Truebeam STx da Varian Medical System do Hospital Israelita Albert Einstein - HIAE (Figura 1).



**Figura 1: Acelerador linear Truebeam STx da Varian Medical System do HIAE.**

Para avaliar as curvas de dose-resposta foi utilizado um intervalo de dose que variou de 30 a 1400 cGy. Para cada valor de dose foi utilizado um grupo de cinco TLD-100.

Em um objeto simulador desenvolvido especificamente para análise de distribuição de dose foi feita uma simulação de um de tratamento de vértebra com proteção da medula espinhal utilizando a técnica VMAT e o programa de planejamento Eclipse 11.0 da Varian Medical System do HIAE. O objeto simulador foi feito em PMMA e possui cinco cavidades que simulam um possível tumor e possíveis órgãos de risco em um tratamento (Figura 2). Para assegurar a confiabilidade do planejamento e garantir que não houvesse movimentação dos TLD-100 durante e entre as irradiações foi feito um molde de material termoplástico para posicionar os TLD-100 dentro das cavidades do objeto simulador (Figura 3).



**Figura 2: Objeto simulador de PMMA com 5 cavidades de geometrias distintas inseridas.**

Para a avaliação das curvas de isodose da simulação do tratamento de vértebra com a técnica VMAT (Figura 4), a cavidade central e retangular do objeto simulador (cavidade 1) foi definida como o volume alvo e as demais cavidades como possíveis órgãos de risco. Os TLD-100 foram posicionados nos moldes nas cavidades e irradiados um a um seguindo o planejamento obtido pelo programa Eclipse 11.0. O processo de irradiação foi repetido dezesseis vezes seguindo sempre o mesmo procedimento.

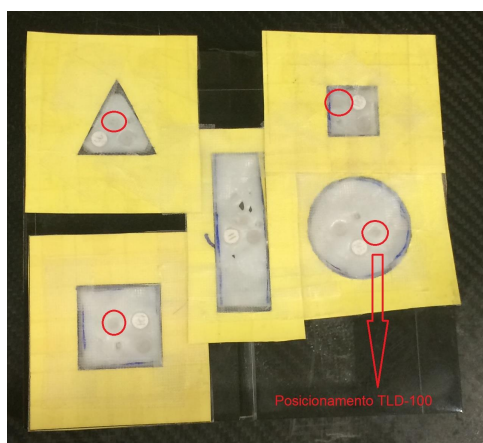


Figura 3: Molde de material termoplástico das geometrias do objeto simulador para posicionamento dos TLD-100 durante as irradiações.

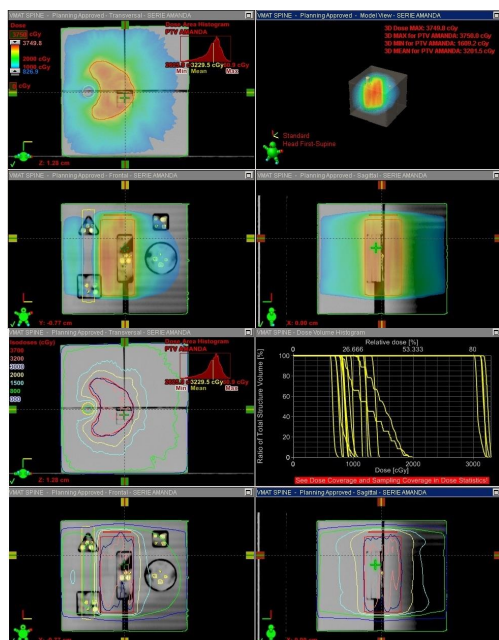


Figura 4: Distribuição de dose no objeto simulador de PMMA com cinco cavidades - curvas de isodose provenientes do sistema de planejamento Eclipse 11.0.

As leituras TL dos TLD-100 foram obtidas utilizando uma leitora TL Harshaw modelo 4500. As barras de erro representam o desvio padrão da média (1) com intervalo de confiança de 95%.

### 3. Resultados e Discussão

A curva de dose-resposta do TLD-100 para o feixe de fótons de 6MV do acelerador linear Truebeam STx da Varian Medical System do HIAE para o intervalo de doses absorvida estudado, entre 30 e 1400 cGy, é apresentada na Figura 5.

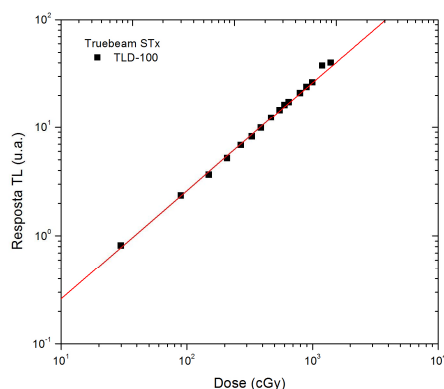


Figura 5: Curva de dose-resposta do TLD-100 para o acelerador linear Truebeam STx do HIAE: energia 6 MV.

Pode ser observado um comportamento linear no intervalo de 30 a 1000 cGy e acima de 1000 cGy uma tendência de saturação da resposta TL.

A tabela 1 apresenta a dose absorvida mínima, máxima e média dada pelo sistema de planejamento Eclipse 11.0 do HIAE e as obtidas através da leitura dos TLD-100.

Tabela 1: Doses absorvidas obtidas pelo sistema de planejamento e através da leitura dos TLD-100.

Cavidades	Doses Absorvidas (cGy)		
	TLD-100		
	$D_{min}$	$D_{max}$	$D_{med}$
Alvo	316,8	320,9	318,6
2	109,3	113,8	111,8
3	85,30	87,00	87,40
4	84,00	87,90	85,80
5	65,10	68,00	66,70
Eclipse 11.0			
Alvo	311,7	325,6	318,2
2	108,5	115,4	112,6
3	80,60	92,90	87,00
4	79,40	92,70	85,60
5	61,40	76,40	66,10

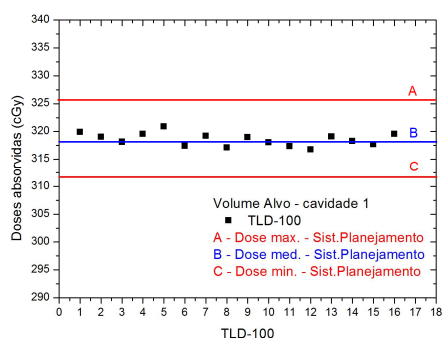
As doses absorvidas obtidas utilizando o TLD-100 variaram de 316,77 cGy a 320,93 cGy para a

cavidade simulando o volume alvo (cavidade 1), de 109,27cGy a 113,82 cGy para a cavidade 2, de 85,28 cGy a 87,03 cGy para a cavidade 3, de 84,03 cGy a 87,92 cGy para a cavidade 4 e de 65,10 cGy a 67,97 cGy para a cavidade 5.

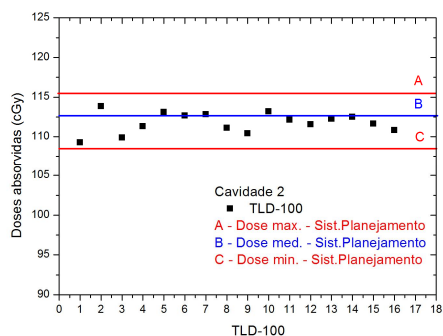
Em relação às doses absorvidas individuais, as medidas utilizando o TLD-100 apresentaram uma variação máxima de  $\pm 2,98\%$  (cavidade 2) quando comparadas às doses absorvidas obtidas através do sistema de planejamento Eclipse 11.0.

A variação entre a dose absorvida média obtida utilizando os TLD-100 e a dose absorvida média dada pelo sistema de planejamento Eclipse 11.0 em cada cavidade foi de  $\pm 0,13\%$ ,  $\pm 0,76\%$ ,  $\pm 0,49\%$ ,  $\pm 0,21\%$  e  $\pm 0,92\%$  nas cavidades alvo (1), 2, 3, 4 e 5 respectivamente.

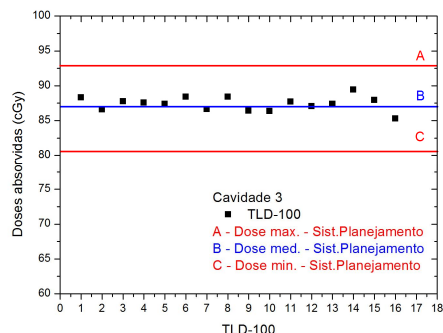
Nos gráficos 6 a 10 são apresentados todos os valores individuais de dose absorvida obtidas utilizando os TLD-100 para as cavidades alvo (1) a 5 respectivamente. Foram realizadas 16 medidas em cada cavidade.



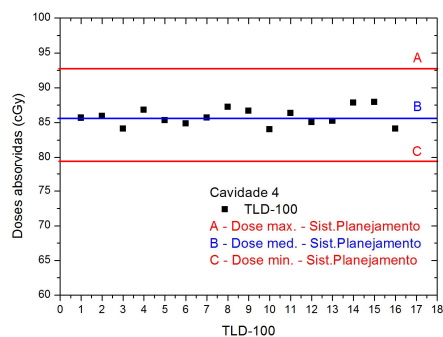
**Figura 6: Doses absorvidas obtidas através dos TLD-100 e intervalo de dose obtida através do sistema de planejamento Eclipse 11.0 do HIAE para a cavidade simulando o volume alvo (cavidade 1).**



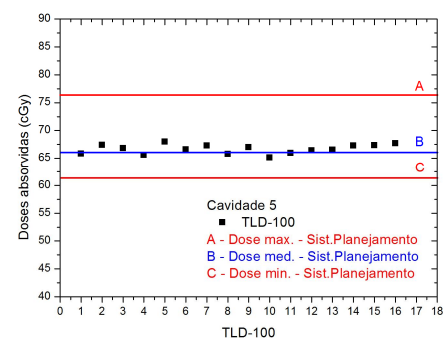
**Figura 7: Doses absorvidas obtidas através dos TLD-100 e intervalo de dose obtida através do sistema de planejamento Eclipse 11.0 do HIAE para a cavidade 2.**



**Figura 8: Doses absorvidas obtidas através dos TLD-100 e intervalo de dose obtida através do sistema de planejamento Eclipse 11.0 do HIAE para a cavidade 3.**



**Figura 9: Doses absorvidas obtidas através dos TLD-100 e intervalo de dose obtida através do sistema de planejamento Eclipse 11.0 do HIAE para a cavidade 4.**



**Figura 10: Doses absorvidas obtidas através dos TLD-100 e intervalo de dose obtida através do sistema de planejamento Eclipse 11.0 do HIAE para a cavidade 5.**

Pode-se observar que para todas as cavidades as doses absorvidas obtidas através do TLD-100 estão dentro do intervalo de dose mínima e máxima dada pelo sistema de planejamento Eclipse 11.0.

Na tabela 2 são apresentados os valores de dose absorvida individuais obtidas através das dezesseis repetições utilizando o TLD-100.

**Tabela 2: Doses absorvidas individuais obtidas através da leitura dos TLD-100 e dose absorvida obtida através do sistema de planejamento Eclipse 11.0.**

T L D	Doses absorvidas (cGy)				
	Cavidades				
	Alvo	2	3	4	5
1	319,92	109,27	88,31	85,67	65,83
2	319,02	113,82	86,60	85,94	67,39
3	318,13	109,89	87,73	84,11	66,85
4	319,53	111,29	87,57	86,83	65,60
5	320,93	113,08	87,38	85,32	67,97
6	317,39	112,65	88,43	84,85	66,61
7	319,18	112,81	86,64	85,71	67,31
8	317,12	111,10	88,43	87,26	65,76
9	318,98	110,40	86,41	86,68	67,00
10	318,05	113,16	86,37	84,03	65,10
11	317,35	112,11	87,69	86,37	65,95
12	316,77	111,56	87,03	85,04	66,42
13	319,06	112,26	87,38	85,24	66,53
14	318,28	112,50	89,44	87,84	67,27
15	317,70	111,64	87,96	87,92	67,36
16	319,53	110,83	85,28	84,11	67,70
	<b>Eclipse 11.0</b>				
<b>D<sub>med</sub></b>	318,2	112,6	87,00	85,60	66,10
<b>D<sub>min</sub></b>	311,7	108,5	80,60	79,40	61,40
<b>D<sub>max</sub></b>	325,6	115,4	92,90	92,70	76,40

A menor variação na dose absorvida individual em relação à média foi obtida na cavidade que simulou o volume alvo (cavidade 1). Nessa cavidade a dose absorvida obtida utilizando o TLD-100 comparada à dose absorvida dada pelo sistema de planejamento Eclipse 11.0 teve uma variação de  $\pm 0,44\%$  (316,77 cGy) para o menor valor e  $\pm 0,87\%$  (320,93 cGy) para o maior valor de dose absorvida. Em relação à média, todos os valores de dose absorvida são melhores que  $\pm 3\%$ .

#### 4. Conclusão

Todos os valores individuais de dose absorvida utilizando o TLD-100 são melhores que  $\pm 3\%$ , ou seja, estão de acordo com o intervalo recomendado pelas organizações para a incerteza na dose absorvida. A variação da dose média absorvida obtida com o TLD-100 em cada cavidade variou de  $\pm 0,13\%$  para a cavidade que simulou o volume alvo a  $\pm 0,92\%$  para a cavidade 5, que simulou possíveis órgãos de risco. Isso mostra a ótima concordância entre as doses medidas com os dosímetros TLD-100 e as doses obtidas através do sistema de planejamento Eclipse 11.0 do HIAE. O TLD-100 apresentou ótimo desempenho para a determinação de curvas de isodose e para avaliar a distribuição de

dose em tratamentos utilizando a técnica VMAT. O TLD-100, como dosímetro TL, pode ser uma ferramenta útil e precisa no controle de qualidade da técnica de tratamento VMAT.

#### 8. Referências

- [1] T. Hong, M. Ritter and P. Harari, "Intensity-modulated radiation therapy: emerging cancer treatment technology", *British Journal of Cancer*, 2005, v.92, pp.1819-1824.
- [2] S.S. Marques, "Estudo dosimétrico prévio de irradiação da próstata com arco conformacional dinâmico", Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.
- [3] A.L. Boyer, G.E. Desobry and N.H. Wells, "Potential and limitations of invariant kernel conformal therapy", *Med. Phys.*, 1991, v.18 (4), pp.703-712.
- [4] A.L. Boyer, B. Butler, T.A. Dipetrillo, M.J. Engler, B. Fraass, W. Grant, C.C. Ling, D.A. Low, T.R. Mackie, R. Mohan, J.A. Purdy, M. Roach, J.G. Rosenman, L.J. Verhey, J.W. Wong, R.L. Cumberlin, H. Stone, and J.R. Palta, "Intensity-modulated radiotherapy: Current status and issues of interest", *Int. J. of Rad. Oncol., Biol. Phys.*, 2001, v.51 (4), p.880-914.
- [5] A. Brahme and A. Agren, "Optimal dose distribution for eradication of heterogeneous tumors", *Acta Oncol.*, 1987, v.26, p.377-385.
- [6] J.F.V. Delgado, "Testes de aceitação, comissionamento e controle de qualidade com colimador micro multi-lâminas", *Revista Imagem*, 2005, n.27, pp.62-63.
- [7] N. Linthout, "A simple theoretical verification of monitor unit calculation for intensity modulated beams using dynamic mini-multileaf collimation", *Radioth. Oncol.*, 2004, v.71, pp.235-241.
- [8] J.F.D. Viteri, "Intercomparação de colimadores de múltiplas lâminas para implementação de terapia de feixes de intensidade modulada", Dissertação de Mestrado IPEN, 2006.
- [9] L. Chin and W. Regine, "Principles and Practice of Stereotactic Radiosurgery", Springer, New York, 2008.
- [10] T. Bortfeld, "Image-Guided IMRT", Springer-Verlag, 2006.
- [11] E.J. Hall, "Radiobiology for the radiologist", Lippincott Williams & Wilkins, 1988.
- [12] A.J. Mundt, "Intensity Modulated Radiation Therapy: A clinical perspective", BC Decker Inc, EUA, 2005.
- [13] International Commission On Radiation Units And Measurements "ICRU, Report 24: Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures", Bethesda, Maryland: ICRU Publications, 1976.
- [14] American Association of Physicists in Medicine, "TG-21: A protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams", *Med. Phys.*, 1983, v. 10, n. 6, pp. 741-771.